

PCT/EP 99/09756  
**BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND**

09/869839

REC'D 19 JAN 2000

WIPO PCT



**PRIORITY  
DOCUMENT**

SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

EP99/9756  
EU

**Bescheinigung**

Die PACESETTER AB in Järfälla/Schweden hat eine Patentanmeldung unter der  
Bezeichnung

"Herzschrittmacher"

am 5. Januar 1999 beim Deutschen Patent- und Markenamt eingereicht.

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patent- und Markenamt vorläufig das Symbol  
A 61 N 1/365 der Internationalen Patentklassifikation erhalten.

München, den 30. November 1999

**Deutsches Patent- und Markenamt**

Der Präsident

Im Auftrag

Aktenzeichen: 199 00 690.3

*Waasmaier*

Waasmaier

**BEST AVAILABLE COPY**

Pfenning, Meinig & Partner GbR

10.10.99 8

Patentanwälte  
European Patent Attorneys

Dipl.-Ing. J. Pfenning (~1994)  
Dipl.-Phys. K. H. Meinig (~1995)  
Dr.-Ing. A. Butenschön, München  
Dipl.-Ing. J. Bergmann, Berlin  
Dipl.-Phys. H. Nöth, München  
Dipl.-Chem. Dr. H. Reitzle, München  
Dipl.-Ing. U. Grämbow, Dresden  
Dipl.-Phys. H. J. Kraus, München

auch Rechtsanwalt

80336 München, Mozartstraße 17  
Telefon: 089/530 93 36-38  
Telefax: 089/53 22 29  
e-mail: muc@pmp-patent.de

10707 Berlin, Kurfürstendamm 170  
Telefon: 030/88 44 810  
Telefax: 030/881 36 89  
e-mail: bln@pmp-patent.de

01217 Dresden, Gostritzer Str. 61-63  
Telefon: 03 51/8718 160  
Telefax: 03 51/8718 162

Berlin  
5. Januar 1999  
Bt/St-us-PACESET

PACESETTER AB  
S-17195 SOLNA, SCHWEDEN

Herzschriftmacher

PACESETTER AB

Patentansprüche

5           1. Herzschrittmacher mit einer Vorrichtung zum Erzeugen von mit einer mittleren Stimulationsintervalldauer aufeinanderfolgender Stimulationspulse einer Vorrichtung zur Modulation einzelner Stimulationsintervalle (ESI) und einer Vorrichtung zur Erfassung eines Herzfunktionsparameters und zur Auswertung der durch die Modulation hervorgerufenen Änderungen des Herzfunktionsparameters, wobei abhängig von dem ausgewerteten Herzfunktionsparameter die Stimulationsintervalldauer geändert wird,

10           dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Modulation die Stimulationsintervalle ESI abwechselnd so verkürzt (-ΔESI) und verlängert (+ΔESI), daß sich die jeweils eingestellte mittlere Intervalldauer nicht ändert und die Auswertevorrichtung die elektrische Restitution des Herzens bei dieser mittleren Intervalldauer auf der Basis der Messung der Dauer des Aktionspotentials bestimmt, wobei die aufgrund der Modulation einzelner Stimulationsintervalle (ESI) auftretenden Änderungen einer Meßgröße der Dauer des Aktionspotentials gegenüber der bei der mittleren Stimulationsintervalldauer bestimmt werden und mit mindestens einem Sollwert verglichen werden und daß abhängig von dem Vergleich die mittlere Stimulationsintervalldauer geregelt wird.

15           2. Herzschrittmacher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßgröße zur Bestimmung der elektrischen Restitution die Dauer des Aktionspotentials (ADP) des Herzmuskels oder das

20

25

30

35

zeitliche Intervall zwischen Stimulationspuls und T-Welle im EKG (ST) oder QRS-Komplex und T-Welle im EKG (QT) verwendet wird.

---

3. Herzschrittmacher nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Vorrichtung zur Modulation einzelner Stimulationsintervalle (ES) die abwechselnde Änderung ( $-\Delta ESI$ ,  $+\Delta ESI$ ) kontinuierlich durchführt.

5. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß als Meßgröße zur Bestimmung der elektrische Restitution die Dauer des Aktionspotentials (ADP) des Herzmuskels oder das zeitliche Intervall zwischen Stimulationspuls und T-Welle im EKG (ST) oder QRS-Komplex und T-Welle im EKG (QT) verwendet wird.

10. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, daß der Mittelwert der die elektrische Restitution bestimmenden Meßgröße (APDm, STm oder QTm) über mehrere Stimulationsintervalle errechnet wird.

15. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die von der jeweiligen Änderung des Stimulationsintervalls ( $\Delta ESI$ ) abhängigen Änderungen der die elektrische Restitution bestimmenden Meßgröße gespeichert wird und daß über mehrere Änderungszyklen ihr Mittelwert ( $\Delta APDm$  bzw.  $\Delta STm$  oder  $\Delta QTm$ ) bestimmt wird.

20. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auswertung der Änderung der Meßgröße eine dimensionsfreie Größe der elektrischen Restitution genutzt wird.

25. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 7. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß zur Auswertung der Änderung der Meßgröße eine dimensionsfreie Größe der elektrischen Restitution genutzt wird.

16.12.88 8

8. Herzschrittmacher nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, daß als dimensionsfreie Größe der elektrischen Restitution der Gradient der elektrischen Restitution (ERG) durch Bildung des Quotienten  $(\Delta APDM/\Delta ESI)$  bzw.  $(\Delta STm/\Delta ESI)$  oder  $(\Delta QTIm/\Delta ESI)$  oder die relative Änderung der elektrischen Restitution durch Bildung des Quotienten  $(\Delta APDm/APDm)$  bzw.  $(\Delta STm/STm)$  oder  $(\Delta QTm/QTm)$  berechnet wird.

9. Herzschrittmacher nach Anspruch 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, daß der Sollwert (ERGs) durch den Wert des Gradienten bzw. der relativen Änderung der elektrischen Restitution im körperlichen Ruhezustand vorgegeben ist.

10. Herzschrittmacher nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, daß zur Anpassung des Sollwertes (ERGs) an individuelle Schwankungen der elektrischen Restitution eine mittlere Stimulationsintervalldauer durch externe Programmierung im Ruhezustand des Patienten festgelegt wird und der in dieser Ruhephase gemessene Wert als absoluter Sollwert (ERGs) gespeichert wird.

11. Herzschrittmacher nach Anspruch 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Anpassung des Sollwertes (ERGs) an längerfristige Schwankungen der elektrischen Restitution mittels eines Sensors der Ruhezustand des Patienten erkannt wird und die mittlere Stimulationsintervalldauer eingestellt wird und der gespeicherte Sollwert (ERGs) durch den in der erfaßten Ruhephase gemessenen Wert ersetzt wird.

12. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß zur Kompensation der frequenzabhängigen Änderungen bei der Detek-

tion der T-Wellen der Sollwert (ERGs) abhängig von der Stimulationsintervalldauer geändert wird.

---

13. Herzschrittmacher nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die mittlere Stimulationsintervalldauer derart geregelt wird, daß sie ansteigt, wenn die Differenz zwischen dem Restitutionsgradienten und dem Sollwert einen negativen Schwellenwert unterschreitet und abfällt, wenn die Differenz einen positiven Schwellenwert überschreitet.

10

PACESSETTER AB

Herzschriftmacher

Die Erfindung betrifft einen Herzschriftmacher nach dem Oberbegriff des Hauptanspruchs.

5 Ein allgemein bekannter Herzschriftmacher ist der so- genannte QT- oder Stimulus-T-Schriftmacher wie er beispielsweise in der US 422 8.803 beschrieben ist. Ein solcher Herzschriftmacher weist Mittel auf, mit denen die mittlere Stimulationsfrequenz an Änderungen der physischen und psychischen Belastung angepaßt werden kann.

15 Hierzu ist ein Schaltkreis vorgesehen, der das intrakardial abgeleitete EKG-Signal auswertet, wobei er den Beginn oder das Maximum der T-Welle detektiert. Da sich der zeitliche Abstand zwischen Stimulation und Einsetzen der T-Welle das sogenannte Stim-T- Intervall bei steigender Belastung verkürzt, liefert der Schaltkreis einen physiologischen Meßparameter,

mit dem die Stimulationsfrequenz sich ändernden Belastungen angepaßt werden kann.

Der prinzipielle Nachteil einer derartigen Frequenzregelung ist dadurch gegeben, daß sich das Stim-T-Intervall nicht nur bei Anstieg der Belastung sondern in weitaus stärkerem Maße durch den Anstieg der Stimulationsfrequenz selbst verkürzt. Eine derartige Frequenzregelung erfordert dementsprechend spezielle Maßnahmen, um eine positive Rückkoppelung zu vermeiden.

Ein weiterer Nachteil dieser Frequenzregelung ist die Tatsache, daß die gemessenen Stim-T-Intervalle humoral bestimmt sind d.h. aufgrund der über die Nebennierenrinde ausgeschütteten, und über den Blutkreislauf transportierten Hormone reagieren.

Grundsätzlich ist bei der Regelung der Stimulationsfrequenz in Herzschrittmachern ein wesentliches Ziel, die Stimulationsfrequenz nicht nur an steigende körperliche Belastungen anzupassen, sondern dabei auch die individuelle myokardiale Leistungsfähigkeit des Patienten zu berücksichtigen. Das bedeutet, daß die Stimulationsfrequenz bei steigender Belastung nur so lange erhöht wird, wie dadurch eine Steigerung des Herzzeitvolumens HZV erreicht wird. Damit soll verhindert werden, daß der Herzmuskel durch eine zu hohe Stimulationsfrequenz ("Overpacing") überlastet und geschädigt wird.

Es wurde versucht, diese Kontrolle durch Messung des Schlagvolumens SV oder eines HZV-abhängigen Meßparameters, wie z.B. der zentralvenösen Sauerstoffsättigung (sO<sub>2</sub>) zu erreichen.

16.12.99 B

Aus der DE 3803473 ist ein Verfahren zur hämodynamischen Optimierung der Stimulationsfrequenz bekannt, das die Messung der vom Herzzeitvolumen HZV-

abhängigen zentralvenösen Sauerstoffsättigung sO2 in

5 Kombination mit einer Modulation der Stimulationsfrequenz  $\Delta HR$  über Phasen von 2 bis 4 Minuten benutzt.

Eine Optimierung des Herzzeitvolumens wird dadurch angestrebt, daß der frequenzabhängige Gradient der Sauerstoffsättigung  $\Delta sO2/\Delta HR$  innerhalb eines vorgegebenen Bereichs gehalten wird, der analog zum Gradienten des Herzzeitvolumens  $\Delta sO2/\Delta HR$  ein physiologisch optimaler Bereich ist.

10 Dieses Verfahren ist von der Stabilität und der Genauigkeit des sO2-Sensorkatheters abhängig, die sich

15 in der Praxis als nicht ausreichend erwiesen haben und es weist den Nachteil auf, daß es wegen der notwendig langen Änderungsperioden nicht in der erforderlichen Zeit von einigen Minuten gelingt zu differenzieren, ob die gemessene sO2-Änderung durch die

20 Frequenzänderung oder durch andere Einflußgrößen bewirkt wurde.

25 Die EP 0 551 355 beschreibt ein Verfahren zur Modulation einzelner Stimulationsintervalle, bei dem die Impedanzmessung zur Erfassung des Schlagvolumens genutzt wird, um den Einsatz eines Sensorkatheters zur Bestimmung des Herzzeitvolumens zu umgehen. Durch die gezielte Modulation einzelner Stimulationsintervalle  $\Delta SI$  und die phasenspezifische Demodulation der Impedanzänderung  $\Delta Z$  wurde angestrebt, den Einfluß nicht funktionsspezifischer und somit störender Parameteränderungen zu unterdrücken und zusätzlich das Signal mit Hilfe maximaler Modulation kalibriert.

30 Dieses Verfahren weist den Nachteil auf, daß das Prinzip der Modulation einzelner Stimulationsin-

tervalle hier nur als Filter- und Kalibrierverfahren, d.h. als Zwischenschritt zur Bestimmung des Schlagvolumens und damit des Herzzeitvolumens HZV genutzt wird. Die Optimierung der Frequenzregelung wird dann

gleichfalls durch die Optimierung des Gradienten  $\Delta HZV/\Delta HR$  anhand einer optimalen hämodynamischen Kennlinie angestrebt. Die Bestimmung des Schlagvolumens hat sich trotz Verbesserung des Störabstandes durch die Einzelpulsmodulation in der Praxis als noch zu ungenau erwiesen, um eine zuverlässige hämodynamische Optimierung durchführen zu können. Das heißt, daß eine Optimierung der Stimulation durch Kontrollierung des Herzzeitvolumens sich in der Praxis als problematisch darstellt, da entweder die spezifischen Sensorkatheter zur Messung des Schlagvolumens oder HZV-abhängiger Meßparameter noch keine ausreichende Langzeitstabilität aufweisen oder Messungen des Schlagvolumens mit Standardkathetern über die Impedanz nicht zuverlässig genug sind. Außerdem wird die Auswertung sehr komplex da die das Meßergebnis verfälschenden und miterfaßten mechanischen Übertragungsfunktionen berücksichtigt werden müssen.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Herzschrittmacher zu schaffen, der eine schnelle und genaue Regelung der Stimulationsfrequenz bzw. der Stimulationsintervalldauer ermöglicht und eine Überlastung durch eine zu hohe Stimulationsfrequenz zu verhindern.

Diese Aufgabe wird erfindungsgemäß durch die Merkmale des Hauptanspruchs gelöst.

Der erfindungsgemäße Herzschrittmacher mit einer individuell optimierten Regelung der Stimulationsintervalldauer umgeht die Notwendigkeit, einen SV- bzw. HZV-abhängigen Meßparameter zu bestimmen und er-

möglich durch Auswertung der elektrischen Restituti-  
on bzw. des Gradienten der elektrischen Restitution  
mit Hilfe der standardmäßigen Erfassung des endokar-  
dialen EKG's eine Regelung der Stimulationsfrequenz

5                         bzw. der Stimulationsintervalldauer mittels eines  
Funktionsparameters des Herzens, der direkt den Bela-  
stungszustand des Patienten wiedergibt, wobei auch  
Veränderungen der Leistungsfähigkeit des Herzmuskels  
und akute Verschlechterungen der myokardialen Lei-  
10                         stung bei der Frequenzanpassung berücksichtigt wer-  
den. Dabei wird die Modulation einzelner Stimulati-  
onsintervalle so durchgeführt, daß die mittlere ein-  
gestellte Intervalldauer sich nicht ändert.

15                         Durch die in den Unteransprüchen angegebenen Maßnah-  
men sind vorteilhafte Weiterbildungen und Verbesserungen  
möglich.

20                         Die Modulation der Stimulationsintervalle um einen  
positiven und negativen Wert sowohl kontinuierlich  
als auch im Abstand von mehreren Pulsen unter peri-  
odischer Wiederholung durchgeführt wird.

25                         Es wurde gefunden, daß die elektrische Restitutions-  
kurve, die durch Messung der Aktionspotentialdauer  
bestimmt wird, äquivalent zu der ist, die durch Mes-  
sung des QT- oder des Stim-T-Intervalls des Elektro-  
kardiogramms definiert wird.

30                         Weiterhin hat sich gezeigt, daß die Analyse der last-  
und der frequenzabhängigen Modulation des Stim-T-  
Intervalls ausreichend zuverlässig ist, wenn die Mo-  
dulation eines einzelnen Stimulationsintervalls die  
Ungleichungen ESI (Extrasystolisches Intervall)  $< 600$   
ms bei  $\Delta ESI/BCL \geq 10\%$  (BCL-basic cycle length).

Als Auswertegröße der elektrischen Restitution kann  
vorteilhafterweise eine dimensionslose Größe z.B. der

Gradient (ERG) oder die relative Änderung der elektrischen Restitution verwendet werden, um eine lastabhängige Steuerung zu erzielen. Dies ist möglich, da dieser Gradient mit einem Anstieg der physi-  
5 schen Last fällt, während er mit steigender Stimulationsfrequenz steigt. Außerdem konnte gefunden werden, daß die Änderungsreaktion hauptsächlich auf einer Änderung der Zeitkonstanten der exponentiellen Restitutionsfunktion beruht und diese Zeitkonstante reagiert wesentlich schneller und stärker auf Ände-  
10 rungen der Last und der Frequenz als es das Stim-T-Intervall bei einer Regelung nach dem Stand der Tech-  
nik tut.

15 Weiterhin ist die erfindungsgemäße Regelung gut anwendbar bei akuter Ischämie, da die elektrische Restitution die myokardialen Bedingungen widerspiegelt. Die Zeitkonstante der exponentiellen elektrischen Restitution und dabei der Gradient derselben steigt mit der Ischämie. Dies bewirkt erfindungsgemäß eine Re-  
20 duktion der Stimulationsfrequenz.

25 Die Regelung nach der Erfindung durch eine Einzel-pulsmodulation und Erfassung der elektrischen Restitution bewirkt eine schnelle und genaue Regelung der Stimulationsfrequenz, da die elektrische Restitution hauptsächlich durch einen neuronal gesteuerten, schnellen Reaktionsmechanismus gesteuert wird.

Ein Ausführungsbeispiel der Erfindung ist in der Zeichnung dargestellt und wird in der nachfolgenden Beschreibung näher erläutert.

30 Es zeigen

Fig. 1 den charakteristischen Verlauf einer elektrischen Restitutionskurve eines normalen,

16.12.88 B

gesunden Myokards für die Ruhe- und für die Belastungsphase,

5 Fig. 2 Kennlinien für den elektrischen Restitutionsgradienten als Funktion der Stimulationsfrequenz in der Ruhe- und Belastungsphase,

Fig. 3 Kennlinien des Gradienten der elektrischen Restitution abhängig von der Stimulationsfrequenz beim Auftreten einer Ischämie und

Fig. 4 ein Blockschaltbild eines Ausführungsbeispiels des Herzschrittmachers nach der vorliegenden Erfindung.

Als elektrische Restitution wird die Abhängigkeit der Dauer des Aktionspotentials AP des Herzmuskels als Funktionsparameter von der Dauer der Diastole  $t_d$  bezeichnet. Wird diese während eines einzelnen Herzzyklus' spontan geändert, beispielsweise durch eine Extrasystole, dann ändert sich das Aktionspotential bzw. dessen Dauer. Die Dauer des Aktionspotentials wird durch das Intervall zwischen dem Anfang der Stimulation und dem Zeitpunkt definiert, bei dem das Aktionspotential um 90% abgefallen ist, und sie nimmt ab, wenn das Zeitintervall zwischen zwei aufeinanderfolgenden Stimulationspulsen kleiner wird. Hier ist zwischen der APD-Änderung nach einem extrasystolischen Stimulationsintervall und der APD-Änderung nach einer Änderung der mittleren oder Basisherzfrequenz (HR=1/BCL) entsprechend dem Stand der Technik zu unterscheiden.

30 Dieses Änderungsverhalten nach einem extrasystolischen Stimulationsintervall lässt sich durch eine doppelt exponentielle Funktion beschreiben, die als elektrische Restitutionskurve ER bezeichnet wird.

Die elektrische Restitutionskurve (ERC) ist somit definiert als Funktion der Aktionspotentialdauer APD von der Zykluslänge eines vorhergehenden extrasystolischen Stimulationspulsintervalls ESI, d.h. eines einzelnen Stimulationspulsintervalls, das von der Basiszykluslänge (BCL), d.h. der mittleren Stimulationsintervalldauer um  $\pm \Delta ESI$  geändert wird und das der Diastole entspricht.

Die Funktion kann beschrieben werden als

$$ER \text{ ADP}(ESI) = ADP_{p1} * (1 - A1 * \exp(-t_d/T1) - A2 * \exp(-t_d/T2))$$

Hierbei sind  $ADP_{p1}$  der Plateauwert, A1 und T1 Amplitude und Zeitkonstante der schnellen Phase der Restitution und A2 und T2 die Amplitude und Zeitkonstante der langsamen Phase der Restitution.

Die Unterscheidung in der Näherungsgleichung zwischen einem langsamen und einem schnellen Anteil beim exponentiellen Anstieg der Restitutionskurve trägt der Tatsache Rechnung, daß Funktion des Herzmuskels bzw. der Herzmuskelzelle wie der Ionenaustausch an der Zellmembran bestimmt sind, d.h. sowohl durch schnelle, autonome Regelprozesse in der Zelle und dem umliegenden Gewebe als auch durch Regelprozesse, die das gesamte Herz-Kreislaufsystem betreffen und über das vegetative Nervensystem und die entsprechenden Drüsens funktionen gesteuert werden.

Als Meßparameter zur Bestimmung der elektrischen Restitutionskurve wird, wie oben angedeutet, prinzipiell die Aktionspotentialdauer APD bestimmt, die durch spezielle Elektroden gemessen werden kann. Untersuchungen haben jedoch gezeigt, daß bei Messung des EKGs auch das sogenannte QT-Intervall, also die Intervalldauer zwischen der Q-Zacke und dem Ende der T-

Welle des intrakardialen EKGs die gleiche Restitutionscharakteristik hat wie die APD. Bei Stimulation des Ventrikels durch einen Herzschrittmacher ist es zweckmäßiger, anstelle des QT-Intervalls als Meßintervall das Stim-T-Intervall STI, also den Abstand zwischen Stimulationspuls und T-Welle zu messen.

In FIG. 1 ist als elektrische Restitutionskurve (durchgezogene Linie) der Verlauf der Aktionspotentialdauer APD in Abhängigkeit von der Länge einzelner extrasystolischer Intervalle eines normalen, gesunden Myokards für die Ruhe- und für eine Belastungsphase dargestellt. Dabei wurden in beiden Phasen jeweils die optimal angepaßten Stimulationsfrequenz HRo bzw. der optimalen Basiszykluslänge  $BCLO = 1/HRo$  (d.h. die mittlere Stimulationssintervalldauer) in einzelnen extrasystolischen Stimulationssintervallen ESI verändert und dann die entsprechende Änderung der Aktionspotentialdauer APD gemessen. Die so entstandenen Restitutionskurven entsprechen den durch die obige Gleichung beschriebenen Exponentialfunktionen. Die optimale Basiszykluslänge BCLO für Ruhe (900 ms) und für eine Belastung (500 ms) sind durch die gestrichelten Pfeile bezeichnet, d.h. die jeweilige Basiszykluslängen bzw. mittlere Intervalldauer wurde um  $\pm\Delta ESI$  zur Bildung von extrasystolischen Intervallen geändert und jeweils als Reaktion die Aktionspotentialdauer bzw. das QT- oder das Stim-T-Intervall als Meßparameter gemessen. Dabei wird mittlere Stimulationssintervalldauer abwechselnd um positive und negative  $\Delta ESI$ -Werte so verlängert und verkürzt, daß die eingestellte mittlere Intervalldauer gleich bleibt. Vorzugsweise sind die  $\pm\Delta ESI$  bei einer Änderung gleich, d.h. die Intervalldauer wird um den gleichen Wert verkürzt und verlängert. Die Änderung kann sich im Abstand von mehreren Pulsen periodisch wiederholen, sie kann aber auch kontinuierlich, d.h. jeder Stimulationspuls wird

abwechselnd verlängert oder verkürzt, durchgeführt werden.

Die gestrichelten Linien in FIG. 1 stellen die Kurven der QT- oder Stim-T-Intervalle eines EKGs bei kontinuierlicher Veränderung der Basiszykluslänge, bzw. bei kontinuierlicher Modulation, die beispielsweise bei einem QT-Schrittmacher nach dem Stand der Technik verwendet werden. Wie zu erkennen ist, unterscheiden sich diese Kennlinien deutlich von den elektrischen Restitutionskurven bei unterschiedlicher Belastung, wobei sich mit steigender Belastung neben einer Reduktion des Plateauwertes der jeweiligen Kurve mit entsprechender Verschiebung nach links auch ein steilerer Anstieg der Kurve gemessen wurde.

Die Restitutionskurve kann nun zur physiologischen Regelung der Stimulationsfrequenz HR genutzt werden, wobei, wie erwähnt, wesentlich ist, daß sowohl der Plateauwert  $ADP_{p1}$  als auch die Zeitkonstanten  $T1$  und  $T2$  abhängig von der Pulsfrequenz HR und dem myokardialen Leistungspegel sind. Die Stimulationsfrequenz sollte daher so geregelt werden, daß das Stimulationsintervall bei jeder Belastung im Bereich des Plateauwertes  $ADP_{p1}$  liegt.

Um eine einfachere Größe für die Regelung verwenden zu können, wird vorteilhafterweise nicht direkt der Bereich um den Plateauwert selber gewählt, sondern der Gradient der Restitutionskurve. Der Gradient der Restitutionskurve im jeweiligen optimalen Arbeitspunkt, der durch die optimale Basiszykluslänge  $BCLO$  gegeben ist, ergibt sich dadurch, daß das extrasystolische Intervall ESI prozentual ( $\Delta ESI/BCL$ ) um einen definierten positiven  $+\Delta ESI$  und/oder negativen Wert  $-\Delta ESI$  verändert wird und die durch Pfeile 20 in FIG. 1

5

dargestellte, resultierende Veränderung der Aktionspotentialdauer  $+\Delta ADP$  bzw.  $-\Delta ADP$  gemessen wird. Wird dieser Gradient der elektrischen Restitution ERG =  $+\Delta ADP/+\Delta ESI$  bzw.  $ERG = -\Delta ADP/-\Delta ESI$  als Funktion der Stimulationsfrequenz HR für die Ruhe- und eine Belastungsphase aufgetragen, so ergibt sich der in FIG. 2 dargestellte Verlauf.

10

15

20

25

FIG. 2 zeigt, daß der exponentielle Anstieg des Gradienten der elektrischen Restitution ERG als Funktion einer steigenden Stimulationsfrequenz HR bei ansteigender Belastung nach rechts verschoben wird. Es ist zu erkennen, daß bei der jeweils optimalen Herzfrequenz die zugehörigen ERG<sub>0</sub>-Werte, die den Plateauwerten  $ADP_{p1}$  in FIG. 1 entsprechen, etwa den gleichen Pegel haben, wobei jedoch die Werte auch unterschiedlich sein können. Diese Werte können bei einer Frequenzregelung als Sollwerte des Gradienten der elektrischen Restitution ERGs gewählt werden, wobei in FIG. 2 ein Bereich um den Sollwert ERGs herum als Bereich für eine optimale Stimulationsfrequenz HR angegeben ist, der durch die Schwellenwerte ERG1 und ERG2 begrenzt ist.

Es ist auch denkbar, daß der Gradient der elektrischen Restitution ERG aus der Differenz der positiven und negativen Änderung der Aktionspotentialdauer in Bezug auf die positive und negative Intervalländerung bestimmt wird, nämlich zu  $ERG = [(+\Delta APD) - (-\Delta APD)] / [(+\Delta ESI) - (-\Delta ESI)]$ .

30

Anhand der FIGN. 1 und 2 läßt sich erkennen, daß die elektrische Restitutionsfunktion bzw. ihr Gradient ERG die Voraussetzung für die Regelung der Stimulationsfrequenz bietet, da einerseits der Gradient der elektrischen Restitution ERG bei Anstieg der Stimulationsfrequenz umgekehrt zum Anstieg der körperlichen

Belastung reagiert und andererseits innerhalb eines physiologisch fest definierten Bereichs einen für jede Belastungssituation optimalen Wert ERGO aufweist.

5 Aus der ERG-Charakteristik nach FIG. 2 ist zu erkennen, daß bei der Frequenzregelung eine zu hohe Stimulationsfrequenz (Overpacing) prinzipiell vermieden wird.

10 Es zeigt sich jedoch auch, daß eine bei Patienten mögliche akute Verschlechterung der myokardialen Leistung erkannt werden kann und bei der Frequenzanpassung berücksichtigt werden kann. In FIG. 3 ist der Gradient der elektrischen Restitution über die Stimulationsfrequenz für einen Fall dargestellt, bei dem eine Verschlechterung der myokardialen Leistung durch 15 Ischämie auftritt. FIG. 3 zeigt, daß die Verlängerung des Stim-T-Intervalls beim Auftreten einer Ischämie im Belastungsfall die ERG-Kurve nach links verschiebt, d.h. der Gradient der elektrischen Restitution reagiert bei Abfall der myokardialen Leistungsfähigkeit wie bei einem Abfall der körperlichen Belastung. Als Folge davon wird die optimale Stimulationsfrequenz HRo reduziert und so die vorrangige Anforderung erfüllt, daß die ERG-abhängige Frequenzregelung bei einem sich krankhaft verschlechternden 20 Herzmuskel ein Overpacing verhindert.

25 In einem anderen Ausführungsbeispiel kann auch anstelle des Gradienten die relative Änderung der elektrischen Restitution durch Bildung des Quotienten  $\Delta APD / \Delta ESI$  verwendet werden, wobei jeweils auch die Mittelwerte über mehrere Änderungszyklen bestimmt 30 werden können.

35 In FIG. 4 ist ein Ausführungsbeispiel eines Herzschrittmachers dargestellt, mit dem eine Frequenzre-

gelung in Abhängigkeit von den Gradienten der elektrischen Restitutionsfunktion ERG verwendet wird.

Die für die ERG-abhängige Frequenz- bzw. Stimulationsintervallregelung benötigten Funktionsblöcke sind in dem umrandeten Feld dargestellt. Als andere Funktionsblöcke, die zur Standardausrüstung eines normalen QT-Schrittmachers gehören sind eine Stimulationselektrode 1 und ein die Stimulationselektrode 1 versorgender Stimulationspulsgenerator vorgesehen. Weiterhin ist ein EKG-Verstärker 2 einerseits mit der Stimulationselektrode 1 und andererseits mit einer Detektionsstufe zur Erfassung des Stim-T-Intervalls als Meßgröße verbunden. Außerdem enthält ein solches System einer über eine Telemetriestufe 12 programmierbaren Mikroprozessor mit einer Prozess-Steuerung 11.

Die Funktionsblöcke der Frequenzregelung sind ein HRmax/HRmin-Speicher zur Speicherung der Grenzwerte der Stimulationsfrequenz, eine mit dem Speicher verbundene Regelstufe 8, der ein Regelwert  $\Delta$ ERG zugeführt wird, einen Stimulationsintervallmodulator 9 zum Festlegen und Modulieren des Stimulationsintervalls, der mit dem Stimulationspulsgenerator 10 verbunden ist. Weiterhin ist eine Rechnungsstufe 4 vorgesehen, die ein Signal von der Detektionsstufe 3 und vom Modulator 9 empfängt sowie eine Stufe 5 zur Bildung des Mittelwerts, ein Sollwertspeicher 6 und ein Soll-Ist-Wert-Vergleicher 13.

Die Funktionsweise des Herzschrittmachers ist wie folgt. Der Stimulationspulsgenerator 10 liefert ein Stimulationspuls an die Stimulationselektrode und der EKG-Verstärker verstärkt das über die Stimulationselektrode 1 abgeleitete intrakardiale EKG-Signal. Aus diesem verstärkten Signal analysiert die Detektions-

stufe 3 die Intervalldauer STI zwischen Stimulationspuls und T-Welle, die dem QT-Intervall bzw. der Aktionspotentialdauer entspricht. In der Berechnungsstufe 4 wird der Gradient der elektrischen Restitutio-

5 on ERG berechnet wobei jedoch auch andere oben erwähnte Größen verwendet werden können. Dazu wird zunächst, getriggert durch den Modulator 9, mit dem von der Detektionsstufe gelieferten Stim-T-Intervallwert die Änderung  $\Delta STI$  berechnet, die durch die Änderung  $\Delta ESI$  des Stimulationsintervalls bewirkt wurde und anschließend wird der Quotient  $ERG = \Delta STI / \Delta ESI$  bestimmt. In der Mittelwertstufe 5 wird der Mittelwert  $ERG_m$  der ERG-Werte über mehrere Änderungszyklen berechnet. Mit dem Pfeil vom Ausgang der Mittelwertstufe 5 zum Sollwertspeicher 6 wird angedeutet, daß der  $ERG_m$ -Wert, der in körperlichem Ruhestand bei einer mittleren Stimulationsfrequenz von etwa 90/min gemessen wird, als Sollwert gespeichert wird.

20 In dem Soll-Istwert-Vergleich 13 wird die Differenz zwischen dem Mittelwert des Gradienten der elektrischen Restitution  $ERG_m$  und dem Sollwert  $ERG_s$  gebildet und als Differenzwert  $\Delta ERG$  an die Regelstufe 8 gegeben, wobei diese zur Einstellung der mittleren Stimulationsfrequenz  $HR_o$  verwendet wird. Diese wird z.B. mit Hilfe folgender Funktionen berechnet:

$$HR_o = HR_{min} + k * \Delta ERG$$

30 wobei  $HR$  so geregelt wird, daß  $HR < HR_{max}$  ist. Dabei sind  $HR_{min}$  und  $HR_{max}$  durch externe Programmierung vorgebbare und im Speicher 7 speicherbare Minimal- bzw. Maximalfrequenzen und  $k$  ein Proportionalitätsfaktor.  $HR_{min}$  wird üblicherweise durch die optimale mittlere Stimulationsfrequenz  $HR_o$  im Ruhezustand vorgegeben. Die so ermittelte Basisfrequenz  $HR_o$  wird der Modulationsstufe 9 zugeführt, in der die Basiszyklus-

länge BCL =  $1/HR_0$  periodisch mit einer Intervalländerung  $\pm \Delta ESI$  moduliert wird und das resultierende Stimulationssintervall ESI =  $BCLO + \Delta ESI$  gebildet wird. Im anschließenden Stimulationspulsgenerator 10 wird dann

5 abhängig vom ESI-Wert der Stimulationspuls abgegeben.  
Die Regelung wird solange wiederholt bis der Wert  $\Delta ERG$  null ist.

In dem oben beschriebenen Beispiel wurde als Sollwert für den Gradienten der elektrischen Restitution ERGs 10 der Pegel gewählt, der sich für die einzelnen Belastungskurven entsprechend FIG. 2 bei der optimalen Stimulationsfrequenz  $HR_0$  ergibt, wobei Regelschwankungen zwischen den Werten  $ERG_1$  und  $ERG_2$  zugelassen 15 sind. Der Sollwert ERGs kann aber auch automatisch an längerfristige Schwankungen des Restitutionsgradienten 20 mit Hilfe eines zweiten, von der Modulation unabhängigen Meßparameters angepaßt werden, mit es möglich ist, den Ruhezustand des Patienten zu erkennen. In der Ruhephase wird dann automatisch die minimale Stimulationsrate  $HR_{min}$  eingestellt und der Sollwert ERGs an den in Ruhe gemessenen Restitutionsgradienten angepaßt. Auf diese Weise wird der Sollwert "nachkaliert". Der von der Modulation unabhängige Meßparameter kann beispielsweise von einem mechanischen Bewegungssensor geliefert werden. Der Sollwert kann auch abhängig von der Frequenz eingestellt werden, beispielsweise kann er im Ruhezustand festgelegt werden und dann mit einer frequenzabhängigen Neigung versehen werden

19.10.99 B

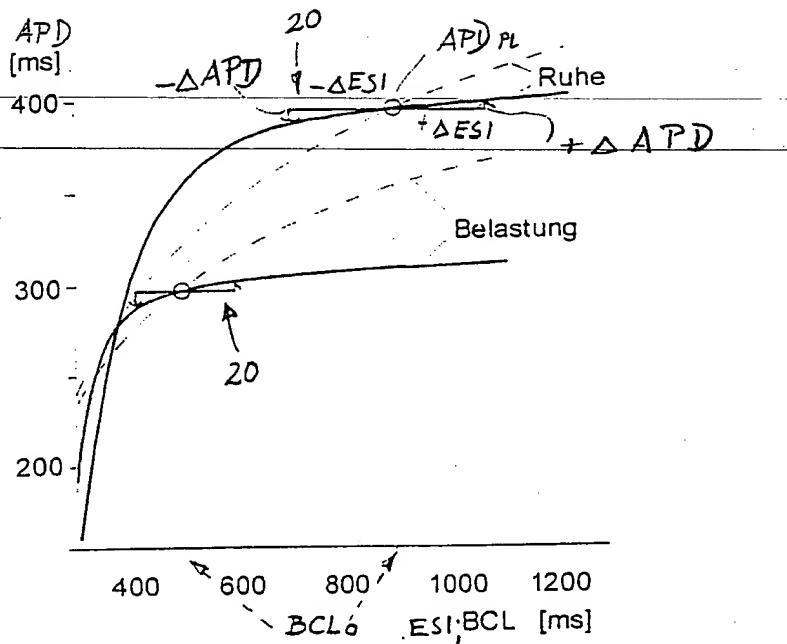


Fig.1

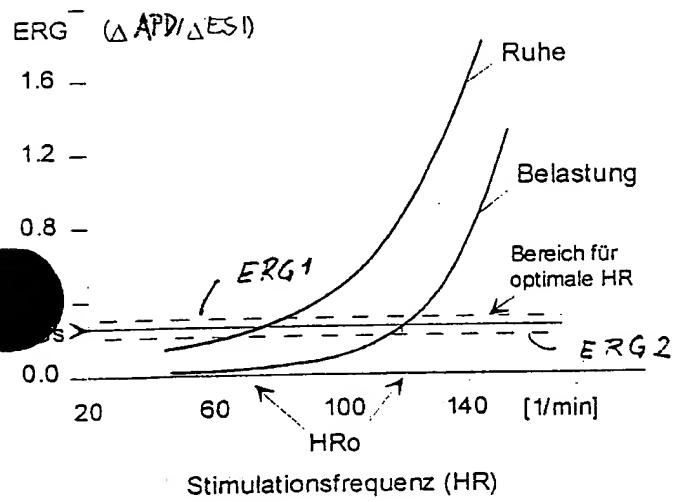


Fig. 2

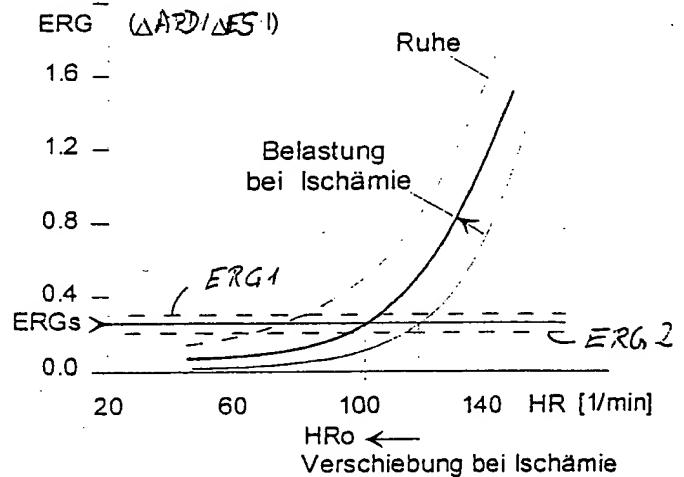


Fig.3

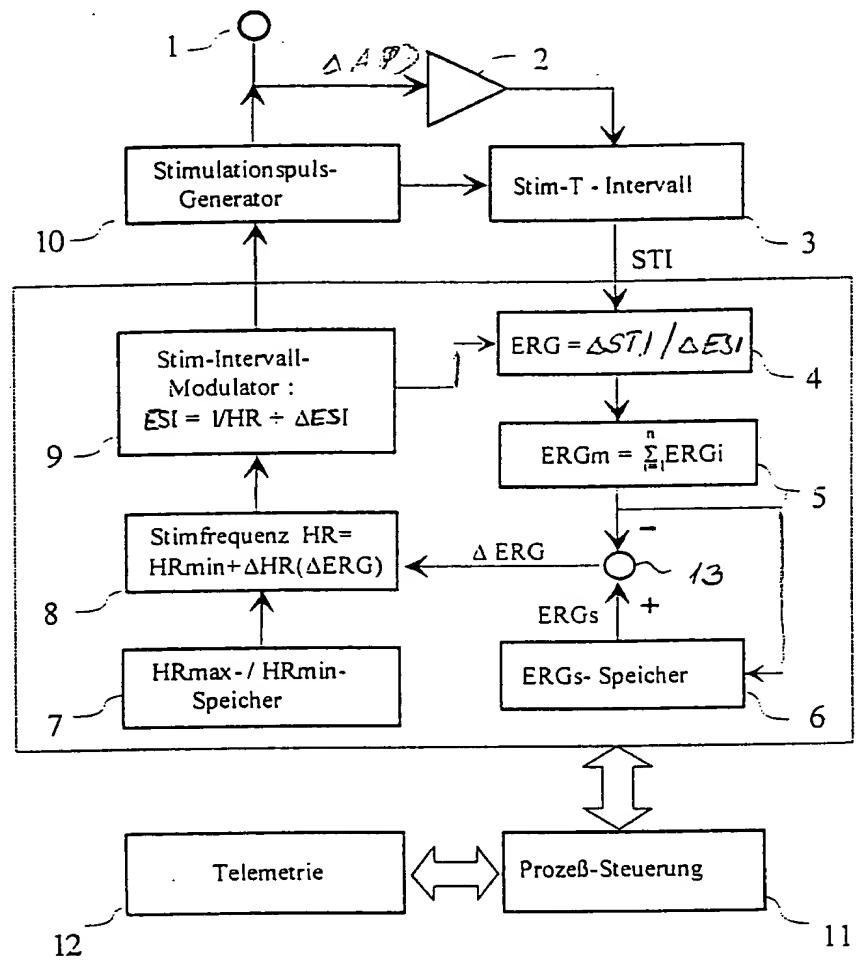


Fig. 4

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- BLACK BORDERS**
- IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- FADED TEXT OR DRAWING**
- BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- SKEWED/SLANTED IMAGES**
- COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- GRAY SCALE DOCUMENTS**
- LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- OTHER:** \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**